

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
15. April 2004 (15.04.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/031716 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>:  
G01L 9/00, 19/04, 19/06

G01L 9/00,

(30) Angaben zur Priorität:

102 43 079.9 16. September 2002 (16.09.2002) DE

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/010009

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ENDRESS + HAUSER GMBH + CO. KG [DE/DE]; Hauptstrasse 1, 79689 Maulburg (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
9. September 2003 (09.09.2003)

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DREWES, Ulfert [DE/DE]; Winzerstrasse 12g, 79379 Müllheim (DE). GETMAN, Igor [RU/DE]; Carl-Keller-Weg 17, 79539 Lörrach (DE). HEGNER, Frank [DE/DE]; Chrischonasstrasse 41, 79540 Lörrach (DE).

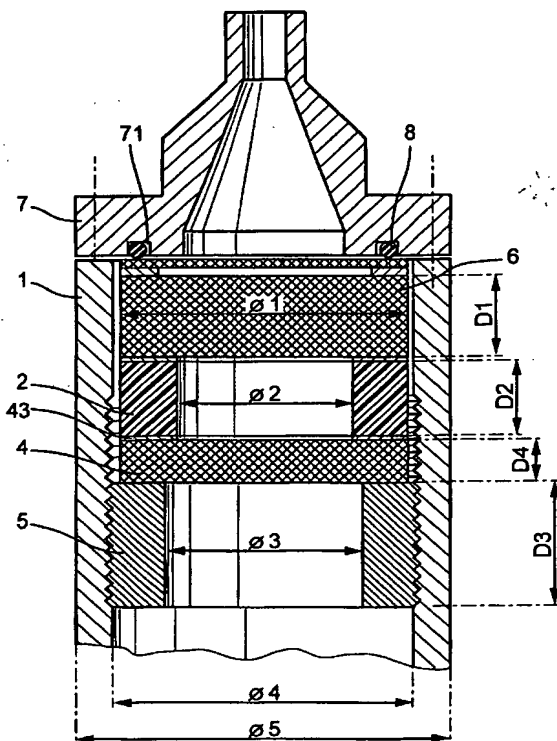
(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CAPACITIVE PRESSURE SENSOR

(54) Bezeichnung: KAPAZITIVER DRUCKSENSOR



(57) Abstract: According to the invention, the range error of a pressure sensor, comprising an essentially cylindrical base body and a measuring membrane, mounted on a front face of the base body, whereby the pressure measuring cell is axially tensioned between an elastic sealing ring, lying on the membrane-side front face of the pressure measuring cell and a support ring which supports the rear of the pressure measuring cell, may be minimised, whereby the dimensions of the support ring and the pressure measuring cell are matched to the dimensions of the sealing ring and the pressure measuring cell such that a radial deformation of the membrane-side front face, caused by the axial fixing of the pressure measuring cell, is so low that the range error of the pressure sensor is around 0.02 % as a result of a reduction in the axial fixing force of about 10 %. Furthermore, a rigid isolation element is arranged between the support ring and a tensioning ring, by means of which the temperature hysteresis of the tensioning can be minimised. The geometry of the support ring and the isolation element are iteratively determined by means of FEM.

(57) Zusammenfassung: Zur Minimierung des Spannefehlers eines Drucksensors mit einem im wesentlichen zylindrischen Grundkörper und einer an einer Stirnfläche des Grundkörpers gefügten Meßmembran, wobei die Druckmeßzelle axial eingespannt ist zwischen einem elastischen Dichtring, der auf der membranseitigen Stirnseite der Druckmeßzelle aufliegt, und einem Stützring, der die Druckmeßzelle rückseitig abstützt, sind die Abmessungen des Stützrings solchermaßen auf die Abmessungen des Dichtrings und der Druckmeßzelle abgestimmt daß eine durch die axiale Einspannung der Druckmeßzelle bedingte radiale Verformung der membranseitigen Stirnfläche so gering ist, daß der Spannefehler des Drucksensors aufgrund einer Reduzierung der axialen Einspannkraft um mindestens 10% nicht mehr als

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(74) **Anwalt: ANDRES, Angelika**; Endress + Hauser Deutschland Holding GmbH, PatServe, Colmarer Strasse 6, 79576 Weil am Rhein (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten (national)**: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional)**: ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),

eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

## Kapazitiver Drucksensor

Die Erfindung betrifft einen kapazitiven Drucksensor, insbesondere einen  
5 kapazitiven keramischen Drucksensor.

Derartige Drucksensoren werden vielfach in der Prozeßmeßtechnik eingesetzt, um den Druck von Prozeßmedien zu messen, die als Flüssigkeiten, Gase oder Dämpfe vorliegen können. Im wesentlichen umfassen derartige Drucksensoren  
10 eine Druckmeßzelle aus einem Grundkörper und einer elastischen Membran, insbesondere aus einem keramischen Grundkörper und einer keramischen Membran. Am Grundkörper ist eine flache Ausnehmung vorgesehen, die auch als Membranbett bezeichnet wird und die von der Membran überdeckt wird. Im Meßbetrieb wird die Membran mit dem Druck eines Prozeßmediums  
15 beaufschlagt, und die Verformung der elastischen Membran, die beispielsweise kapazitiv oder resistiv ermittelt wird, ist ein Maß für den Druck. Eine entsprechende Druckmeßzelle ist u.a. in der deutschen Offenlegungsschrift DE 39 01 492 offenbart.

Im Meßbetrieb wird eine Druckmeßzelle gewöhnlich axial eingespannt zwischen einem medienseitigen elastischen Dichtring, der auf der membranseitigen Stirnfläche des Sensors aufliegt, und einem Stützring, welcher die von der Membran abgewandte Stirnfläche des Grundkörpers axial abstützt, wie  
20 beispielsweise in der deutschen Offenlegungsschrift DE 42 13 857 dargestellt ist.  
25

Insofern, als die Verformung der Membran bei gegebenem Druck von der effektiven Membransteifigkeit abhängt, ist es erforderlich, die Membransteifigkeit nach der Kalibrierung über den Meßbereich des  
30 Drucksensors, möglichst konstant zu halten. Es ist daher besonders wichtig, daß möglichst wenige radiale Kräfte auf die Druckmeßzelle wirken, da radial

einwärts wirkende Kräfte die Membransteifigkeit verringern und radial auswärts wirkende Kräfte die Membransteifigkeit vergrößern können.

5 In der ebenfalls anhängigen deutschen Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 10229703.7 beschreibt die Anmelderin, daß die axiale Einspannung einer Druckmeßzelle zwischen einem Dichtring und einem Stützring eine elastische Durchbiegung der rückseitigen Stirnfläche des Grundkörpers in axialer Richtung bewirkt. Die Durchbiegung führt zu radialen Verformungen des Grundkörpers im Bereich der membranseitigen Stirnfläche, 10 wenn die Geometrie des Stützrings nicht auf die Geometrie der Druckmeßzelle abgestimmt ist. Hierbei erweist sich der Innendurchmesser des Stützrings als besonders kritische Größe. Ist die Auflagefläche des Stützrings zu groß, bzw. ist der Innendurchmesser zu klein, so bewirken die axialen Einspannkräfte, die durch den Dichtring mit dem Durchmesser in die Druckmeßzelle bzw. den 15 Grundkörper eingeleitet werden, Biegemomente in der Druckmeßzelle, welche eine in der Summe radial auswärts gerichtete Verformung der Meßmembran verursachen. In ähnlicher Weise wird die dem Dichtring zugewandte Stirnfläche radial einwärts elastisch verformt, wenn die Auflagefläche des Stützrings zu klein bzw. der Innendurchmesser des Stützrings zu groß ist.

20

Die beschriebenen stirnseitigen radialen Verformungen wären grundsätzlich vertretbar, wenn sie konstant gehalten werden könnten. Dies ist jedoch nicht praktikabel, da die radialen Verformungen eine Funktion der axialen Einspannkräfte sind, welche insbesondere von der Alterung bzw. Temperung 25 des elastischen Dichtrings abhängen, über den die axialen Einspannkräfte eingeleitet werden. Beispielsweise kann die axiale Einspannkraft irreversibel von 500 N auf etwa 400 N reduziert werden, wenn ein Drucksensor mit einem neu eingesetzten Dichtring auf 80°C erwärmt wird.

30

Veränderungen der radialen Verformung sind praktisch also nur durch ein Design zu verhindern, bei dem selbst bei maximaler axialer Einspannkraft keine nennenswerten radialen Verformungen auftreten.

Die Lösung der genannte deutschen Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 10229703.7 beruht daher darauf, für eine Druckmeßzelle mit vorgegebenen Abmessungen und Materialeigenschaften einen Innendurchmesser des Stützrings zu identifizieren, bei dem die radiale Verformung der Druckmeßzelle im Bereich der Fügestellen der Meßmembran weitgehend eliminiert ist, so daß die Variation der Membransteifigkeit aufgrund der sich verändernden axialen Einspannkkräfte bis auf einen vertretbaren Restfehler minimiert ist.

Der Drucksensor gemäß der 10229703.7 umfaßt eine Druckmeßzelle mit einem im wesentlichen zylindrischen Grundkörper mit einem ersten Durchmesser und einer ersten Dicke, einen an einer Stirnfläche des Grundkörpers gefügten Meßmembran mit einem zweiten Durchmesser und einer zweiten Dicke, wobei die Druckmeßzelle axial eingespannt ist zwischen einem elastischen Dichtring mit einem dritten Durchmesser und einer dritten Dicke, der auf der membranseitigen Stirnseite der Druckmeßzelle aufliegt, und einem Stützring mit einem vierten Außendurchmesser, einem vierten Innendurchmesser und einer vierten Dicke, wobei der Stützring die von der Meßmembran abgewandte rückwärtige Stirnseite der Druckmeßzelle abstützt; wobei ferner die Abmessungen des Stützrings solchermaßen auf die Abmessungen des Dichtrings und der Druckmesszelle abgestimmt sind, daß eine durch die axiale Einspannung der Druckmeßzelle bedingte radiale Verformung der membranseitigen Stirnfläche so gering ist, daß der Spannenfehler des Drucksensors aufgrund einer Reduzierung der axialen Einspannkraft um mindestens 10% nicht mehr als etwa 0,02% der Spanne beträgt.

Der Spannenfehler bezeichnet in diesem Zusammenhang die Abweichung der bei reduzierter axialer Einspannkraft auftretenden Differenz zwischen dem Meßwert bei Maximaldruck und dem Meßwert ohne Druckbeaufschlagung von der entsprechenden Differenz bei voller axialer Einspannkraft.

Die volle axiale Einspannkraft bezeichnet beispielsweise die axiale Einspannkraft, mit der Drucksensoren mit neuen Dichtringen montiert werden, um auch nach einer Temperung bzw. Alterung des Dichtrings den spezifikationsgemäßen Druck sicher halten zu können können. Die axiale  
5 Einspannkraft kann beispielsweise zwischen 350 N und 550 N liegen, wobei die gewählte Einspannkraft im Einzelfall von der Art der Dichtung und dem Nenndruck bzw. den Spezifikationen des Drucksensors abhängt.

10 Jüngere experimentelle Untersuchungen haben nun ergeben, daß Varianten, bei denen der Stützring fest mit dem Grundkörper verbunden oder einstückig mit diesem ausgebildet ist, hinsichtlich des Spannenfehlers beherrschbarer sind. D.h., der Spannenfehler nimmt einen beliebig geringen Wert an und streut kaum zwischen verschiedenen Meßzellen eines Typs.

15 Die Ergebnisse hinsichtlich der Temperaturhysterese der Spanne sind für diese Varianten jedoch unbefriedigend, d.h., der durch Hysterese bedingte Fehler der Spanne ist zu groß.

20 Die Temperaturhysterese ist nach derzeitigem Verständnis eine Folge unzureichender Relaxation an den Grenzflächen zwischen Komponenten mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Besonders kritisch ist in diesem Zusammenhang die Grenzfläche zwischen einem Gewinding bzw. Einspannring zum Einspannen des Stützrings.

25 Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung einen Drucksensor bereitzustellen, bei dem neben dem Spannenfehler aufgrund der Veränderung der axialen Einspannung auch die Temperaturhysterese reduziert ist.

30 Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch den Drucksensor, gemäß des unabhängigen Patentanspruchs 1 und das Verfahren gemäß des unabhängigen Patentanspruchs 15.

Der erfindungsgemäße Drucksensor umfaßt

eine Druckmeßzelle mit einem im wesentlichen zylindrischen Grundkörper mit einem ersten Durchmesser und einer ersten Dicke, einen an einer Stirnfläche des Grundkörpers gefügten Meßmembran mit einem zweiten Durchmesser und einer zweiten Dicke,

einen elastischen Dichtring mit einem dritten Durchmesser und einer dritten Dicke,

einen Stützring mit einem vierten Außendurchmesser, einem vierten Innendurchmesser und einer vierten Dicke, wobei der Stützring mit der von der Meßmembran abgewandten Stirnseite der Druckmeßzelle fest verbunden ist,

einen Einspannring mit ersten Eingriffsmitteln und

ein Gehäuse zur Aufnahme einer Druckmeßzelle, wobei das Gehäuse eine axiale Anschlagfläche für den Dichtring und zweite Eingriffsmittel, die in die ersten Eingriffsmittel eingreifen, aufweist,

wobei die Druckmeßzelle zwischen dem elastischen Dichtring, der zwischen der axialen Anschlagfläche des Gehäuses und der membranseitigen Stirnseite der Druckmeßzelle angeordnet ist, und dem Stützring, mittels des Einspannrings axial eingespannt ist,

wobei ferner

zwischen dem Einspannring und dem Stützring ein steifes Entkopplungselement angeordnet ist, und

die Abmessungen des Stützrings und ggf. des Entkopplungselements solchermaßen auf die Abmessungen des Dichtrings und der Druckmesszelle

abgestimmt sind, daß eine durch die axiale Einspannung der Druckmeßzelle bedingte radiale Verformung der membranseitigen Stirnfläche so gering ist, daß der Spannenfehler des Drucksensors aufgrund einer Reduzierung der axialen Einspannkraft um mindestens 10% nicht mehr als etwa 0,02% beträgt und die  
5 Temperaturhysterese der Spanne nicht mehr als etwa 0,03% beträgt.

Die Temperaturhysterese kann beispielsweise durch Vergleichsmessungen vor und nach einem Temperaturzyklus ermittelt werden bei dem der Sensor von Raumtemperatur auf 150°C erwärmt, danach auf -40°C abgekühlt und  
10 anschließend wieder auf Raumtemperatur erwärmt wird. Gleichermaßen kann zuerst eine Abkühlung auf die Minimaltemperatur auch vor der Erwärmung auf die Maximaltemperatur erfolgen.

Vorzugsweise sind die Abmessungen des Stützrings und ggf. des  
15 Entkopplungselements so weit optimiert, daß der Spannenfehler bei einer Reduzierung der Einspannkraft um mindestens 20% nicht mehr als etwa 0,02% beträgt. Weiter bevorzugt sind die Abmessungen des Stützrings und ggf. des Entkopplungselements so weit optimiert, daß der Spannenfehler bei einer Reduzierung der Einspannkraft um mindestens 10% bzw. mindestens 20%  
20 nicht mehr als etwa 0,01% beträgt.

Zudem können die die Abmessungen des Stützrings und ggf. des Entkopplungselements so weit optimiert werden, daß die Temperaturhysterese der Spanne nicht mehr als 0,02% und besonders bevorzugt nicht mehr als  
25 0,01% beträgt.

Vorzugsweise sind der Grundkörper und die Meßmembran aus dem gleichen Material gefertigt, wobei derzeit ein keramisches Material, insbesondere  
30 Korund, bevorzugt wird. Die Meßmembran weist bevorzugt etwa den gleichen Durchmesser wie der Grundkörper auf. Insbesondere bei keramischen Drucksensoren kann die Meßmembran mittels eines Aktivhartlotes oder eines



Glases an der Stirnseite des Grundkörpers befestigt sein. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfaßt die Fügestelle einen Sinterkorund.

5 Der Stützring weist in der derzeit bevorzugten Ausführungsform ebenfalls das gleiche Material wie der Grundkörper auf. Dies ist insofern vorteilhaft, als der Stützring dann den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie der Grundkörper aufweist. Der Stützring sollte vorzugsweise ein Material aufweisen das mindestens so steif ist wie der Grundkörper. Der Außendurchmesser des Stützrings sollte nicht kleiner und vorzugsweise gleich dem Durchmesser des  
10 Grundkörpers sein. In einer derzeit bevorzugten Ausführungsform ist der Stützring fest mit dem Grundkörper verbunden. Dies kann durch Löten, beispielsweise mit einem Aktivhartlot, oder durch Kleben erfolgen. Schließlich kann der Stützring einstückig mit dem Grundkörper gefertigt sein. Der Stützring weist bevorzugt mindestens die Dicke des Grundkörpers auf.

15 Das Entkopplungselement ist insofern steif, als das Material des Entkopplungselements vergleichbare mechanische Eigenschaften aufweist, wie das Material des Stützrings. Bevorzugt weist das Entkopplungselement das gleiche Material auf wie der Stützring.

20 Das Entkopplungselement dient insbesondere dazu Verformungen des Stützrings aufgrund unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten des Einspannrings, des Gehäuses und des Stützrings zu minimieren.

25 Derzeit sind zwei Varianten von Entkopplungselementen bevorzugt:

Bei der ersten Variante umfaßt das Entkopplungselement einen Entkopplungsring, der bevorzugt die gleichen Innen- und Außendurchmesser wie der Stützring aufweist. Weiter bevorzugt hat der Entkopplungsring etwa die  
30 gleiche Dicke wie der Stützring. Der Entkopplungsring lastet flächig auf dem Stützring. Optional sind Mittel vorgesehen, um die Reibung zwischen dem Entkopplungsring und dem Stützring zu minimieren. Hierzu kann eine

Kunststoffschicht bzw. -folie, beispielsweise Teflon, eine Hartstoffglattschicht, wie DLC (Diamond Like Carbon), oder ein Gleitmittel wie Molybdändisulfid eingesetzt werden.

- 5 Bei der zweiten Variante umfaßt das Entkopplungselement eine Versteifungsplatte. Die Versteifungsplatte kann entweder lose auf dem Stützring aufliegen, fest mit dem Stützring verbunden oder einstückig mit dem Stützring ausgebildet sein. Hinsichtlich der Reduzierung der Temperaturhysterese, hat die Verbindung der Versteifungsplatte mit dem
- 10 Stützring nach derzeitiger Erkenntnis keinen Einfluß. Bevorzugt weist die Versteifungsplatte den gleichen Durchmesser wie der Außendurchmesser des Stützrings auf. Insbesondere die Dicke der Versteifungsplatte ist ein Parameter der bei der Optimierung des erfindungsgemäßen Sensors variiert werden kann.
- 15 Der Einspannring umfaßt vorzugsweise einen Gewinding wobei die ersten Eingriffsmittel durch das Gewinde auf der Mantelfläche des Gewinderings realisiert sind. Die zweiten Eingriffsmittel sind entsprechend ein Innengewinde in einem zylindrischen Gehäuseabschnitt, in welches der Gewinding eingreift, um über das Entkopplungselement und den Stützring eine axiale Einspannkraft
- 20 auf die Druckmeßzelle auszuüben.

Die Erfindung wird nun anhand eines in den beigefügten Figuren dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert. Es zeigt:

25

Fig. 1: eine Schnittzeichnung durch einen erfindungsgemäßen Drucksensor,

30

Fig. 2a-c: schematische Ansichten von verschiedenen Varianten des Entkopplungselements des erfindungsgemäßen Drucksensors, und.

Fig. 3a-c: FEM-Daten zur Verformung einer Druckmeßzelle bei axialer Einspannung.

Der in Fig. 1 gezeigte Drucksensor umfaßt eine Druckmeßzelle 6 die einen  
5 Grundkörper und eine Meßmembran aus Korund aufweist, die mittels eines  
Aktivhartlots an der vorderen Stirnfläche des Grundkörper befestigt ist. Ein  
Stützring aus Korund, dessen Außendurchmesser gleich dem Durchmesser  $\Phi_1$   
des Grundkörpers ist, ist an der rückseitigen Stirnfläche des Grundkörpers  
mittels eines Aktivhartlots befestigt. Die Druckmeßzelle 6 und der Stützring 2  
10 sind in einem Gehäuse aus Edelstahl angeordnet, welches eine zylindrische  
Meßzellenkammer 1 und einen Prozeßanschlußflansch 7 aufweist, welcher an  
einer stirnseitigen Öffnung der Meßzellenkammer 1 angeordnet ist. Der  
Prozeßanschlußflansch 7 erstreckt sich radial einwärts von der zylindrischen  
Wand der Meßzellenkammer 1 und bildet so eine axiale Anschlagfläche in der  
15 eine Ringnut 71 geformt ist zur Aufnahme eines elastischen Dichtrings 8. Die  
Druckmeßzelle 6 drückt mit der membranseitigen Stirnfläche axial gegen den  
Dichtring 8.

Die Einspannkraft ist durch die Kompression des Dichtrings 8 und dessen  
20 elastische Eigenschaften gegeben. Die Kompression des Dichtrings wird bei  
der Montage des Drucksensors über die Position eines Gewinderings 5  
eingestellt, der rückseitig über ein Entkopplungselement, hier eine  
Entkopplungsplatte 4, auf den Stützring 2 wirkt. Die elastischen Eigenschaften  
des Dichtrings 8 ändern sich durch Alterung bzw. Temperung des Dichtrings  
25 unter Kompression. Bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel beträgt die  
anfängliche Einspannkraft 500 N. Nach einer Temperung des Dichtrings, die  
beispielsweise im Betrieb durch Reinigungszyklen des Sensors mit  
Wasserdampf erfolgen kann, wird die Einspannkraft auf 400 N reduziert.

30 Beispiele für Einspannelemente sind in den Detailansichten in Fign 2 a-c  
gezeigt.

In Fig. 2a ist als Entkopplungselement ein Entkopplungsring 41 eingesetzt, der die gleichen Abmessungen wie der Stützring 2 aufweist. Zwischen dem Entkopplungsring 41 und dem Stützring 2 ist eine Teflonschicht angeordnet. Die Temperaturhysterese der Spanne wurde durch Einsatz des Stützrings 2 von 0,15% auf etwa 0,01% reduziert.

Fig. 2b und 2c zeigen eine Variante, bei der das Entkopplungselement als steife Entkopplungsplatte realisiert ist. In Fig. 2b ist die Entkopplungsplatte 42 einstückig mit dem Stützring 2 ausgebildet. In Fig. 2c ist eine Entkopplungsplatte 4 nur lose auf den Stützring aufgelegt. Hinsichtlich der Reduzierung des Spannefehlers und der Temperaturhysterese des Spannefehlers spielt die Art der Verbindung 43 der Entkopplungsplatte mit dem Stützring keine Rolle, d.h. die Hysterese kann durch einstückig mit dem Stützring ausgebildete Entkopplungsplatten, durch lose aufgelegte Entkopplungsplatten oder durch beispielsweise mittels eines Hartlots fest mit dem Stützring verbundene Entkopplungsplatten erheblich reduziert werden.

Mit einer Dicke der Entkopplungsplatte von einem Zehntel der Stützringdicke wurde die Temperaturhysterese der Spanne von 0,15% auf 0,03% reduziert. Mit einer Entkopplungsplatte mit der gleichen Dicke wie der Stützring wurde die Temperaturhysterese der Spanne auf 0,01% reduziert. Der Spannefehler aufgrund einer Variation der axialen Einspannkräfte um 20% betrug dabei 0,02%.

Die Identifizierung des optimalen Innendurchmessers  $\Phi_2$  des Stützrings wird nachfolgend für ein Ausführungsbeispiel erläutert. Die vorgegebenen Abmessungen waren: Grundkörperdurchmesser  $\Phi_1=32,4$  mm, Dicke des Grundkörpers  $D_1=5$ mm, Dicke der Membran  $160\mu\text{m}$ , Dicke der Aktivlotschicht  $55\mu\text{m}$ .

Mittels FEM wurde zunächst die Verformung der Druckmeßzelle für verschiedene Innendurchmesser des Stützrings bei axialen Einspannkraften von 500N und 400N ermittelt, und die daraus folgende Spanne bei Beaufschlagung mit dem Nenndruck (von 170mbar für die verwendete Druckmeßzelle) wurde ebenfalls mit FEM berechnet. Der Spannefehler ergibt sich durch Vergleich der Spannen bei 500 N Einspannkraft und 400 N Einspannkraft. Zur Reduzierung der Rechenzeit wurde hierbei zunächst der Stützring als unendlich steif angenommen. D.h. Verformungen des Stützrings und der Entkopplungsplatte wurden nicht hierbei zunächst nicht berücksichtigt.

Fig. 3a-c zeigt eine Vektordarstellung der Verformung der Druckmeßzelle aufgrund der axialen Einspannung für einen Ausschnitt um die Innenkante der Fügestelle zwischen dem Grundkörper und der Meßmembran für verschiedene Innendurchmesser  $\Phi_2$  des Stützrings.

In Fig. 3a beträgt der Innendurchmesser 27,8 mm. Dieser Innendurchmesser ist zu groß. Das gezeigte Vektorfeld bei einer Einspannkraft von 500 N zeigt eine radial einwärts gerichtete Verschiebung, welche die Membransteifigkeit reduziert. Die Spanne wird damit also größer. Die Spannenänderung gegenüber der nicht eingespannten Zelle beträgt etwa +0,8%. Bei einer Einspannkraft von 400N wird die Spannenänderung auf etwa +0,64% reduziert. Der Spannefehler beträgt somit -0,16%.

In Fig. 3b beträgt der Innendurchmesser 10,0 mm dieser Innendurchmesser ist zu klein. Das gezeigte Vektorfeld bei einer Einspannkraft von 500 N zeigt eine radial auswärts gerichtete Verschiebung, welche die Membransteifigkeit erhöht. Die Spanne wird damit also kleiner. Die Spannenänderung gegenüber der nicht eingespannten Zelle beträgt etwa -0,1%. Bei einer Einspannkraft von 400N wird die Spannenänderung auf etwa -0,08% reduziert. Der Spannefehler beträgt somit +0,02%.

In Fig. 3c beträgt der Innendurchmesser 23,2 mm dieser Wert ist nahezu ideal. Das gezeigte Vektorfeld bei einer Einspannkraft von 500 N zeigt im Bereich der Fügestelle der Membran kaum eine radiale Verschiebung, welche die Membransteifigkeit verändern könnte. Die Spannenänderung gegenüber der nicht eingespannten Zelle beträgt etwa -0,01%. Bei einer Einspannkraft von 400N wird die Spannenänderung auf etwa -0,008% reduziert. Der Spannefehler beträgt somit +0,002%.

Somit ist für die gegebenen Abmessungen der Druckmeßzelle ein Innendurchmesser für einen Stützring gefunden, der die radiale Verformung der Druckmeßzelle aufgrund axialer Einspannkkräfte weitgehend eliminiert. In der praktischen Umsetzung weist der Stützring vorzugsweise eine Dicke auf, die nicht weniger als die Dicke der Druckmeßzelle ist, um der Annahme einer hinreichend steifen axialen Abstützung gerecht zu werden.

15

Mittels FEM wurde anschließend mit den zuvor ermittelten Stützringdaten als Ausgangspunkt die Verformung aller Komponenten des Drucksensors für axiale Einspannkkräfte von 500N und 400N ermittelt. Hierbei wurde für die Entkopplungsplatte und für den Stützring das gleiche Elastizitätsmodul angenommen wie für den Grundkörper und die Membran der Druckmeßzelle, nämlich das von Korund. Für das Gehäuse wurde VA-Stahl und für den Einspannring Messing angesetzt. Die aus der Verformung folgende Spanne bei Beaufschlagung mit dem Nenndruck wurde ebenfalls mit FEM berechnet. Der Spannefehler ergab sich wie zuvor durch Vergleich der Spannen bei 500 N Einspannkraft und 400 N Einspannkraft. Es wurde ein Spannenfehler von weniger als 0,02% ermittelt.

Ebenfalls wurde mittels FEM die Verformung der Komponenten während eines Temperaturzyklus (Raumtemperatur -> -40°C -> 150°C -> Raumtemperatur) bestimmt, um die Temperaturhysterese der Spanne zu ermitteln. Durch Variation der Dicke der Entkopplungsplatte konnte eine Geometrie identifiziert

werden, bei der die Temperaturhysterese der Spanne unter einem angestrebten Grenzwert von 0,03% liegt. Durch weitere Iterationen mit Variationen der Stützringgeometrie und der Stärke auf einen akzeptablen Wert ist eine weitere Verbesserung zu erwarten.

## Patentansprüche

5        1.        Drucksensor, umfassend

10                eine Druckmeßzelle mit einem im wesentlichen zylindrischen Grundkörper mit einem ersten Durchmesser und einer ersten Dicke, einen an einer Stirnfläche des Grundkörpers gefügten Meßmembran mit einem zweiten Durchmesser und einer zweiten Dicke,

                 einen elastischen Dichtring mit einem dritten Durchmesser und einer dritten Dicke,

15                einen Stützring mit einem vierten Außendurchmesser, einem vierten Innendurchmesser und einer vierten Dicke, wobei der Stützring mit der von der Meßmembran abgewandten Stirnseite der Druckmeßzelle fest verbunden ist,

20                einen Einspannring mit ersten Eingriffsmitteln und

                 ein Gehäuse zur Aufnahme einer Druckmeßzelle, wobei das Gehäuse eine axiale Anschlagfläche für den Dichtring und zweite Eingriffsmittel, die in die ersten Eingriffsmittel eingreifen, aufweist,

25                wobei die Druckmeßzelle zwischen dem elastischen Dichtring, der zwischen der axialen Anschlagfläche des Gehäuses und der membranseitigen Stirnseite der Druckmeßzelle angeordnet ist, und dem Stützring, mittels des Einspannrings axial eingespannt ist,

30                dadurch gekennzeichnet, daß



zwischen dem Einspannring und dem Stützring ein steifes Entkopplungselement angeordnet ist, und

5 die Abmessungen des Stützrings und des Entkopplungselements solchermassen auf die Abmessungen des Dichtrings und der Druckmesszelle abgestimmt sind, daß eine durch die axiale Einspannung der Druckmeßzelle bedingte radiale Verformung der membranseitigen Stirnfläche so gering ist, daß der Spannenfehler des Drucksensors aufgrund einer Reduzierung der axialen  
10 Einspannkraft um mindestens 10% nicht mehr als etwa 0,02% beträgt und die Temperaturhysterese der Spanne nicht mehr als etwa 0,03% beträgt.

15 2. Drucksensor nach Anspruch 1, wobei der Innendurchmesser des Stützrings so gewählt ist, daß der Spannenfehler bei einer Reduzierung der Einspannkraft um mindestens 20% nicht mehr als etwa 0,02% beträgt.

20 3. Drucksensor nach Anspruch 1, wobei der Innendurchmesser des Stützrings so gewählt ist, daß der Spannenfehler bei einer Reduzierung der Einspannkraft um mindestens 10% bzw. mindestens 20% nicht mehr als etwa 0,01% beträgt.

25 4. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Temperaturhysterese der Spanne nicht mehr als 0,02% und besonders bevorzugt nicht mehr als 0,01% beträgt.

30 5. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Grundkörper und die Meßmembran aus dem gleichen Material, insbesondere ein keramisches Material aufweisen.

6. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Stützring und/oder das Entkopplungselement das gleiche Material wie der Grundkörper aufweist.
- 5 7. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Stützring mindestens die Dicke des Grundkörpers aufweist..
8. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Entkopplungselement eine Entkopplungsplatte aufweist.
- 10 9. Drucksensor nach Anspruch 8, wobei die Entkopplungsplatte einen Durchmesser aufweist, der gleich dem Außendurchmesser des Stützrings ist.
- 15 10. Drucksensor nach Anspruch 8 oder 9, wobei die Entkopplungsplatte nicht fest mit dem Stützring verbunden ist.
11. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Entkopplungselement einen Entkopplungsring aufweist.
- 20 12. Drucksensor nach Anspruch 11, wobei der Entkopplungsring etwa die gleichen Abmessungen wie der Stützring aufweist.
13. Drucksensor nach einem der Ansprüche 11 oder 12, wobei zwischen dem Stützring und dem Entkopplungsring Mittel zur Minimierung der Reibung vorgesehen sind.
- 25 14. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Haftreibungskoeffizient zwischen dem Stützring und dem Entkopplungsring weniger als 0,2 beträgt.
- 30

15. Verfahren zur iterativen Optimierung der Abmessungen eines Stützrings und eines Entkopplungselements für einen Drucksensor, nach einem der vorherigen Ansprüche umfassend die Schritte:

- 5 (i) Festlegen einer Geometrie für den Stützring und für das Entkopplungselement
- (ii) Berechnen einer ersten Spannenänderung des Drucksensors unter einer ersten axialen Einspannungskraft;
- 10 (iii) Berechnen einer zweiten Spannenänderung des Drucksensors unter einer zweiten axialen Einspannungskraft;
- (iv) Ermittlung des Spannefehlers durch Vergleich der ersten Spannenänderung mit der zweiten Spannenänderung;
- 15 (v) Bewertung des Spannefehlers;
- (vi) und Ermittlung der Temperaturhysterese der Spanne und Bewertung der Temperaturhysterese der Spanne, ggf. unter der Bedingung dass der Spannefehler hinreichend klein ist,
- 20 (vii) Variation der Geometrie des Stützrings und ggf. des Entkopplungselements, und wiederholen der Schritte (ii) bis (vii) bis
- 25 eine geeignete Geometrie für einen hinreichend kleinen Spannefehler und eine hinreichend kleine Temperaturhysterese der Spanne gefunden ist.

1/3

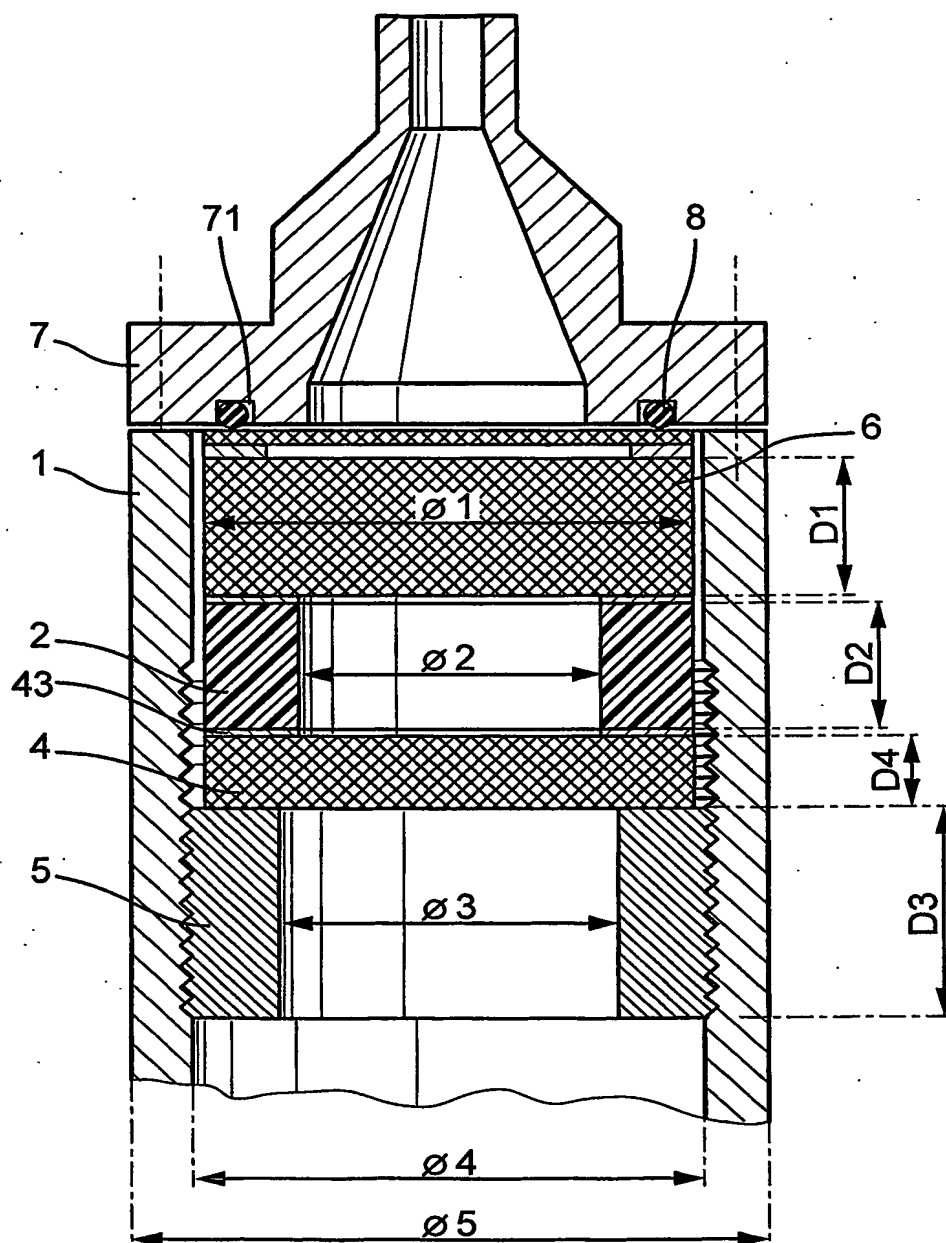


Fig. 1

2/3

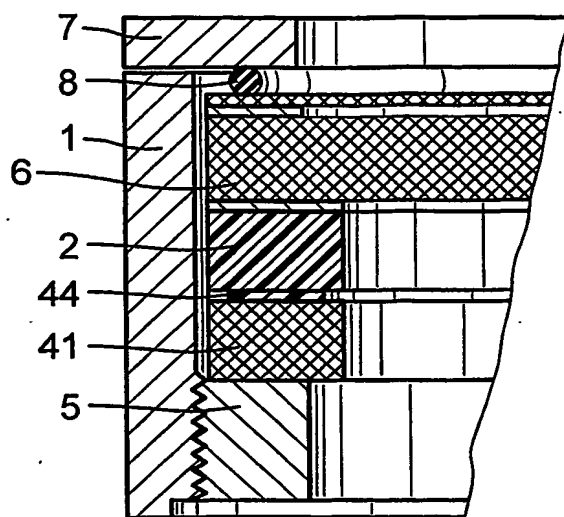


Fig. 2a

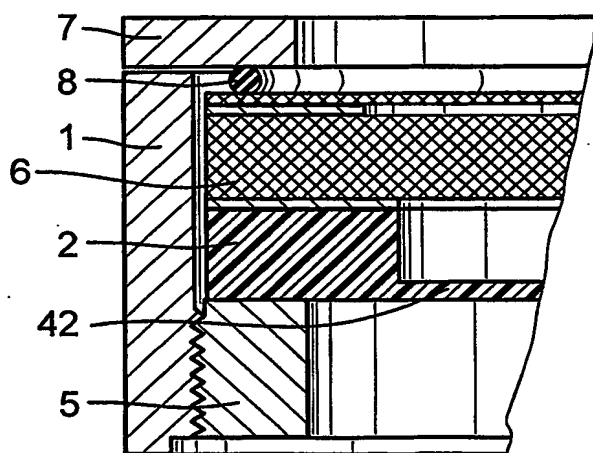


Fig. 2b

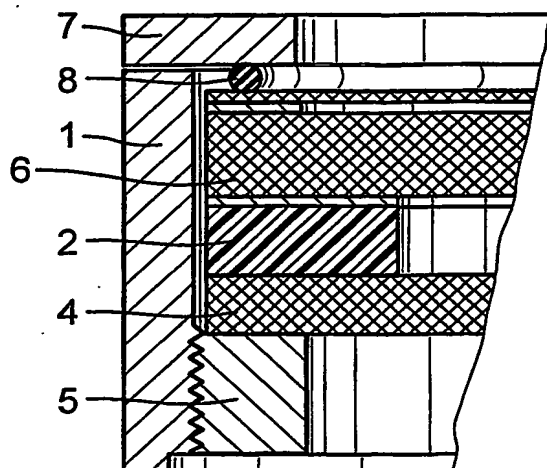


Fig. 2c

3/3

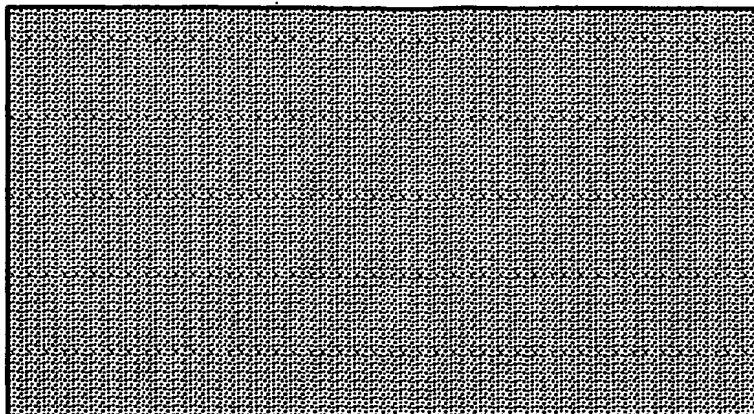


Fig. 3a

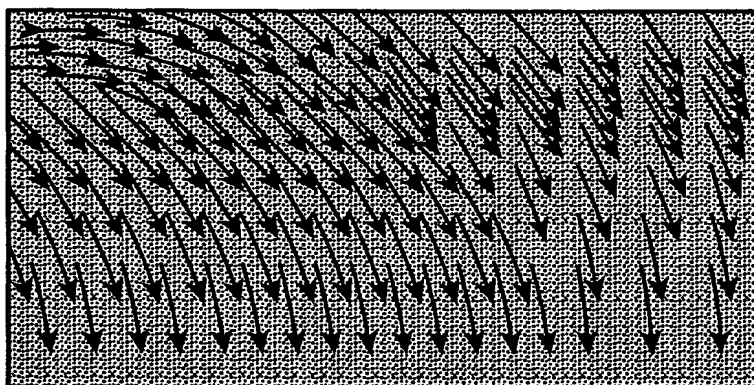


Fig. 3b

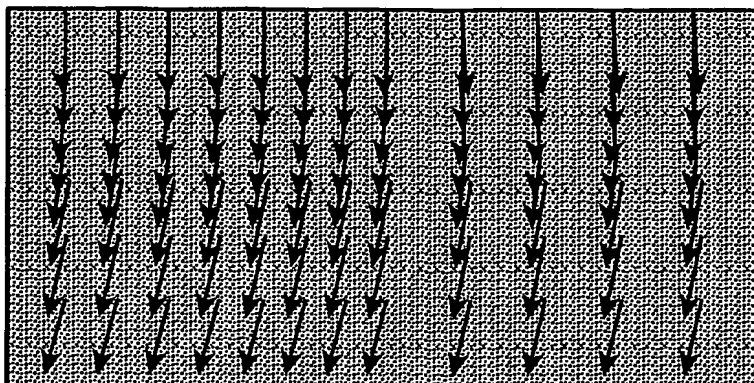


Fig. 3c

BEST AVAILABLE COPY

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/EP 03/10009

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 G01L9/00 G01L19/04 G01L19/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 42 13 857 A (ENDRESS HAUSER GMBH CO) 28 October 1993 (1993-10-28) cited in the application abstract; figure 1	1-15
A	DE 44 16 978 A (IFM ELECTRONIC GMBH) 16 November 1995 (1995-11-16) abstract; figure 1	1-15
A	US 5 712 428 A (SCHLEIFERBOECK DETLEF) 27 January 1998 (1998-01-27) abstract; figure 1	1-15
A	US 6 055 864 A (SCHMIDT NORBERT ET AL) 2 May 2000 (2000-05-02) column 4, paragraphs 1,2; figures 1,2	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 December 2003

Date of mailing of the international search report

12/01/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Zafiropoulos, N

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/10009

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4213857	A	28-10-1993	US 5535629 A	16-07-1996
			DE 4213857 A1	28-10-1993
			WO 9322646 A1	11-11-1993
			DE 59307459 D1	06-11-1997
			EP 0594808 A1	04-05-1994
DE 4416978	A	16-11-1995	DE 4416978 A1	16-11-1995
US 5712428	A	27-01-1998	EP 0757237 A2	05-02-1997
			DE 59609042 D1	16-05-2002
			JP 2774267 B2	09-07-1998
			JP 9119880 A	06-05-1997
US 6055864	A	02-05-2000	DE 19825889 A1	11-11-1999



# INTERNATIONAL RESEARCH REPORT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/10009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 G01L9/00 G01L19/04 G01L19/06

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 42 13 857 A (ENDRESS HAUSER GMBH CO) 28. Oktober 1993 (1993-10-28) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung 1 ---	1-15
A	DE 44 16 978 A (IFM ELECTRONIC GMBH) 16. November 1995 (1995-11-16) Zusammenfassung; Abbildung 1 ---	1-15
A	US 5 712 428 A (SCHLEIFERBOECK DETLEF) 27. Januar 1998 (1998-01-27) Zusammenfassung; Abbildung 1 ---	1-15
A	US 6 055 864 A (SCHMIDT NORBERT ET AL) 2. Mai 2000 (2000-05-02) Spalte 4, Absätze 1,2; Abbildungen 1,2 -----	1-15

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. Dezember 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

12/01/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Zafiropoulos, N

# INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Akdenzeichen

PCT/EP 03/10009

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4213857 A	28-10-1993	US 5535629 A	16-07-1996
		DE 4213857 A1	28-10-1993
		WO 9322646 A1	11-11-1993
		DE 59307459 D1	06-11-1997
		EP 0594808 A1	04-05-1994
DE 4416978 A	16-11-1995	DE 4416978 A1	16-11-1995
US 5712428 A	27-01-1998	EP 0757237 A2	05-02-1997
		DE 59609042 D1	16-05-2002
		JP 2774267 B2	09-07-1998
		JP 9119880 A	06-05-1997
US 6055864 A	02-05-2000	DE 19825889 A1	11-11-1999